

DSRC 網における IP ハンドオーバーの ソフトウェアシミュレーション

鄒 曉霞[†] 狩野 秀一[‡] 須堯 一志[†] 水越 康博[‡]

DSRC(Dedicated Short Range Communication) [1]は路車間高速無線通信システムとして開発された。DSRC を利用したネットワーク[2]では、自動車は走行中でも連続した高速なデータ通信が可能である。同ネットワークの性能を調査するため、ネットワークシミュレーションツールによる同ネットワーク内の自動車データ通信のソフトウェアシミュレーションを行った。本稿では、とくにその中でソフトハンドオーバー方式についてのシミュレーション結果を報告し、各方式が性能に与える影響について考察する。

Software Simulation of IP Handover for DSRC Network

Zou Xiaoxia[†], Shuichi Karino[‡],
Kazushi Sugyo[†], Yasuhiro Mizukoshi[‡]

DSRC (Dedicated Short Range Communication) [1] was developed as a fast communication system for automobiles. For network using DSRC[2], high speed data communication of fast moving automobiles are possible. To investigate the performance of such a network, we did software simulation of automobile's data communication by using simulation tool. In this paper, we report the results of the simulations, and show how the system's performance will be changed by the procedures of handover.

1. はじめに

現在の自動車の通信環境は、携帯電話の利用が中心であるが、通信速度の面で充実しているとはいえない。

DSRC は、自動車に設置された車載無線機(OBE: On Board Equipment)と道路上に設置した無線基地局(RSU: Road Side Unit)との間の路車間無線通信システムのことであり、現在は車載無線機と特定の無線基地局との間のスポット通信をおこなう自動料金収受システム(ETC: Electronic Toll Collection System) [1]に利用さ

れている。RSU がカバーするセルは直径が 3m~30m と狭いので、たとえば ETC の無線伝送方式では、OBE は 10mW 程度の低い出力で、1Mbps の通信がおこなえる。今後、伝送方式の改良により、4Mbps さらには 10Mbps という高速な通信の実現が期待されている。しかし、現在の DSRC ではネットワークが考慮されておらず、OBE と RSU の 1 対 1 のアプリケーションしか実現することができない。DSRC のためのネットワーク構築方式の実現が望まれている。

DSRC を利用した、高速なインターネット接続環境を実現することで、自動車の情報システムを高度化することが可能となる。

しかし、自動車の走行中におけるインターネット接続環境を可能とするためには、DSRC ネット

[†](株)NEC 情報システムズ

NEC Infomatec Systems Ltd. Co.

[‡]NEC ネットワークス開発研究所

Development Laboratories, NEC Networks,
NEC Corporation

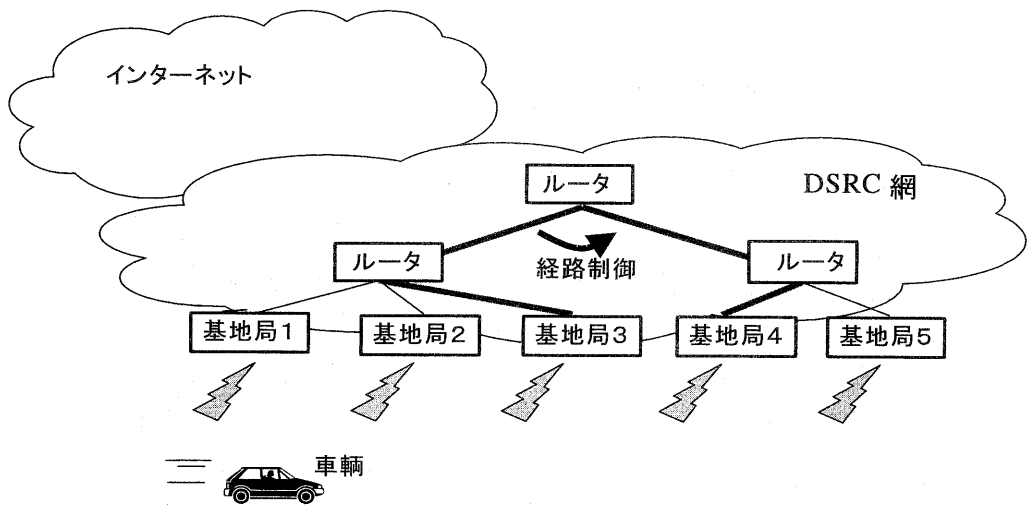


図 1：システム概要図

ワークに適したハンドオーバー技術が必要である。DSRC のリンク識別子(LID)は 32bit 長であるが、装置の電源投入時に動的に決定するため、ネットワーク内で同一の LID を使っている車輛が存在する可能性がある。このため、DSRC はリンクレベルハンドオーバーが適さず、IP レベルで移動サポートを行う必要がある。

IP レベルで移動をサポートする技術はインターネット上の移動を管理するマクロモビリティ技術と局所的な移動を管理するマイクロモビリティ技術の主に 2 つに分類される。

MobileIP[3,4]は、マクロモビリティ技術に属するプロトコルであり、移動端末の位置管理をホームエージェントが行う。具体的には、移動端末はネットワークを移動するたびにホームエージェントに移動通知を発行し位置を把握する。MobileIP は移動通知の発行間隔が長い状況を想定しており、上記に示すように高速なネットワーク間の移動には適していない。

そのため、CelluarIP[5] や HAWAII[6] に代表されるようなマイクロモビリティ技術が登場した。これらの技術は移動端末の局所的な移動をネットワーク全体で管理し、移動サポートネットワークの外部には移動を隠蔽する方式である。このマイクロモビリティ技術の一つとして、著者らは DSRC IPv6 網[2]を開発した

本稿では DSRC IPv6 網に、ソフトハンドオーバー機能を追加し、シミュレーションを行ったので

報告する。

2. システムの概要

本節では著者らが設計した DSRC IPv6 網 (以下 DSRC 網と略記) を概観する。本システムの概要を図 1 に示す。

本方式は、DSRC 網内での同一 IP アドレスへの到達性を保持し続けることで、網内でのリンク切り替えなどによる車輛の移動を隠蔽する。具体的には DSRC 網に接続した移動ノード(MN: Mobile Node)、すなわち OBE に接続された IP ノードに IP アドレスを割り付ける。同アドレスへの網内での経路をリンク切り替えによる移動に追従して更新することで、同アドレスへの到達性を保持する。以下では、経路制御及び移動管理方式の概要を述べる。

2.1. ネットワーク構成

高速な移動を低コストでサポートするために、木構造のネットワークポロジを採用した(図 2)。木の葉に DSRC 基地局を接続し、根で外部ネットワークに接続する。木の各ノード部分に移動サポート機能を追加したルーターを設置する。移動サポートを加えた経路制御およびパケット転送の方法は後述する。

本稿ではこの木構造のネットワーク全体をリージョン、リージョンの根のルーターをリージョンルーター(RR: Region Router)、葉のルーターをゾーン

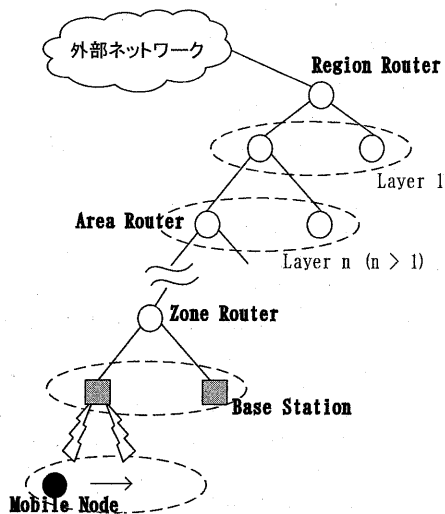


図 2. ネットワーク構造

ルータ(ZR: Zone Router)、その他のルータをエリアルータ(AR: Area Router)と呼ぶ(図 2)。

2.2. 経路制御

リージョン内の各ルータでは、MN への経路は次のように管理される。MN が接続する DSRC 基地局を収容する ZR から RR へ至るパス上の全ルータで、MN への経路を MN 毎に管理する(図 3)。

MN 宛ての packets は各ルータ上でこの経路情報を参照して次のルータへ転送される。MN 発の packets はリージョン内を RR へむけて配送されて行き、RR から外部ネットワークへ送出される。

経路情報はソフトステートであり、電源断などにより到達性がなくなった MN への経路がルータに残らないようにする。

2.3. 移動管理

MN への経路は、MN のリージョン内での移動に伴って更新される。経路の更新は MN 自身が経路更新通知を送信することで行う。

MN が接続する基地局が切り替わった場合の処理は次のようになる(図 4)。新しい基地局に接続すると、経路更新通知を RR へ送信する。

同通知は ZR から順に RR へむけて配送されて行く。同通知を中継する各ルータは、中継処理を

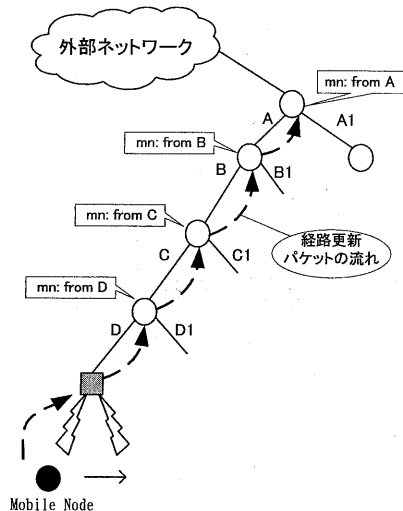


図 3. 経路管理

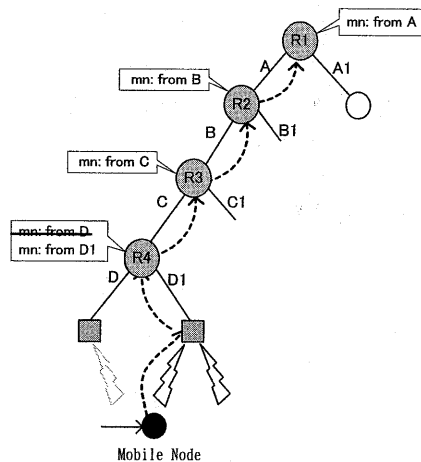


図 4. 移動管理

行う際に、同通知を送出した MN への経路を作成・更新する。

ただし、リンクの切り替えや経路の更新時には、リンクの確立や経路更新の完了に一定の時間がかかるため、一時的に MN への到達性が失われる。これを避けるため、一般に、リンクの切り替え先と切り替え元の二つの無線基地局に同時に接続して両方から packets を受信することで、到達性を保持し続ける手法が利用され、これをソフトハンドオーバーと呼ぶ。

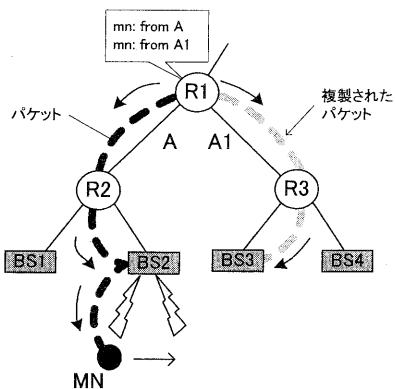


図 5. pre-update方式

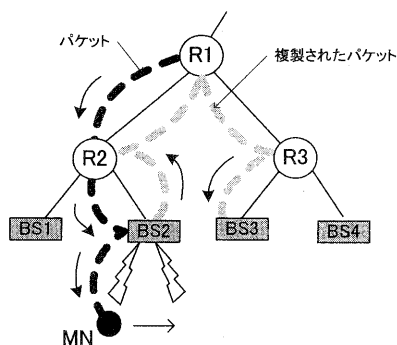


図 6. bi-cast

しかしETCでの利用を前提とした現行のOBEは複数の基地局(RSU)とリンクを確立することができないため、上記の手法は直接適用できない。一方高速道路では、無線ゾーンは直線的に連続して配置されており、大部分の無線ゾーンでは次に接続される基地局を予測することができる。本方式ではこの条件を利用して、現在接続している基地局とともに、切り替え先の基地局経由でもパケットを配送することでパケットロスをも最小限に押さえる。具体的には、以下に示す二つの方式をとった。

- ① pre-update 方式 (図5)：経路が分岐するルータ(図中 R1)でパケットを複製して送出する。
- ② bi-cast 方式 (図6)：MN が現在接続中の基地局(図中 BS2)か、またはそれを収容する

ZR (図中 R2) でパケットを複製し、切り替え先の基地局へトンネルする。これらの方式の動作は次節に述べる。

2.4. ソフトハンドオーバー

ここでは、pre-update と bi-cast 方式の具体的な動作を説明する。

a) pre-update 方式

本方式の動作は次のようになる。

- ① MN が基地局に接続すると、該当基地局やそれを収容する ZR(図中 R2)から補助経路作成通知を切り替え先基地局へむけて送信する。
- ② 同通知はリージョン内のあるルータ(図中 R1)で下向に折り返される。このルータで切り替え元と切り替え先への経路を両方保持するように設定する。同通知を下向に転送するルータ(図中 R3)では、MN の切り替え先への補助経路を設定する。
- ③ 経路更新通知により作成された経路に基づき、上位ルータから MN 宛てパケットが到達すると、R1 では 同パケットを複製して主経路および補助経路へむけてパケットを転送する。
- ④ 最下段ルータ(図中 R2, R3)はそれぞれ MN の接続先の基地局へパケットを転送する。網からパケットを受信した基地局は、MN とリンクを確立していればパケットを転送し、さもなければパケットを破棄する。
- ⑤ MN は始め旧基地局から主経路で到達したパケットを受信し、旧基地局から新基地局へリンクを切り替えれば、すぐにパケットを受信できる。

b) bi-cast 方式

本方式の動作は次のようになる。

- ① MN が基地局に接続すると、該当基地局またはそれを収容する ZR(図中 R2)で該当 MN 宛てのパケットを切り替え先の基地局へトンネルする処理を設定する。ここでは図の BS2 で同設定が行われたとする。
- ② 上位ルータから MN 宛てパケットが到達すると、BS2 はパケットを複製し、一方は無線リンクに送出する。同パケットは無線リンクが確立されていれば、MN に配送される。他方のパケットには、切り

替え先の基地局を宛先とする IP ヘッダを先頭に付加し、上位ルータ(図中 R2)へ送出する。

- ③ 同パケットは切り替え先の基地局まで(図では R1, R3 を経由して)従来の経路制御機構により配送されて行き、そこでペイロードから MN 宛てパケットが抽出され、無線リンクが確立されていれば MN へ配送される。
- ⑥ MN が旧基地局から新基地局へリンクを切り替えれば、すぐにパケットを受信できる。

上記二つの方式を比較すると、前者はカプセル化のコストがかからないが、経路情報の設定や保持のコストがかかる。これに対して後者は特別な経路情報は不要だが、パケットをカプセル化して転送するコストがかかる。また、リンク切り替えにかかる時間を考慮して、本方式では切り替え先の基地局で複製パケットのバッファリングを行うようにした。

これらの条件がネットワークの性能に与える影響は複雑であるため、シミュレーションにより評価を行った。

3. ソフトウェアシミュレーション

上記二つのソフトハンドオーバー方式について検証するために、ソフトウェアシミュレーションによる評価をおこなった。

シミュレーションにはネットワークシミュレータ *ns* [7] を利用し、本方式の移動管理プロトコルは新たに実装した。シミュレーションの条件を次に示す。ネットワークは、図 2 のような 2 分木構造とした。リージョンルータからゾーンルータまでの各レイヤのルータ数は 1、2、4、8、16、32、64 であり、各ゾーンルータの下に 2 個の基地局を置いた。その他の条件は表 1 に示す。

3.1. シミュレーション結果

外部ネットワークにあるリモートホストから FTP で移動ノードに IP パケットを 90 秒間送信する場合のスループットを図 8 に示す。a),(b),(c) はそれぞれソフトハンドオーバーなしのとき、pre-update 方式を適用したとき、bi-cast 方式を適用したときのスループットグラフである。表 2 では、(a),(b),(c) 各場合の平均スループットを示す。

ソフトハンドオーバーを行わない場合、車速が 72km/h の時、スループットが安定しないことがわ

かる。これは基地局の切り替えによるパケットロスが原因である。さらに車速が 100km/h になると、平均スループットは帯域幅の約半分になる。

bi-cast 方式では、車速が 72km/h の時、スループットは無線区間の帯域幅とほぼ同じ値で安定している。車速が 100km/h の時でも、平均 100kbps 以上のスループットで通信が行なわれる。

pre-update 方式では、車速が 72km/h の時、スループットの平均値は bi-cast 方式と同じで、bi-cast 方式よりも安定している。車速が 100km/h の時、スループットは 72km/h の時に比べ、約 30% 低くなったが、安定している。

表 1. シミュレーション条件

無線空間の帯域幅	120kbps
有線リンクの帯域幅	100Mbps
MN の台数	1 台
基地局間隔	30m
切替時の無通信時	0.01 秒
MTU	1500 Bytes
MN とルータの処理時間	0 秒
バッファサイズ (pre-update 方式)	20x1024 Bytes
バッファサイズ (bi-caste 方式)	5x1024 Bytes

表 2. 平均スループット (単位: kbps)

	車速	車速
	72km/h	100km/h
ソフトハンドオーバーなし	98.4	62.9
pre-update 方式	114.4	77.6
bi-cast 方式	118.1	109.9

3.2. 結果分析

ここでは pre-update と bi-cast 方式により、スループットが異なる原因を考察する。

これは、TCP のウィンドウ制御方法 [8] に関連する。TCP の送信側では、パケットを送信してからそのパケットに対する ACK が受信側から送信されてくるまでの時間によって送信ウィンドウサイズを調整している。ACK が戻ってくる時間が長い場合、TCP 送信側は送信ウィンドウサイズを小さくし、送信速度を低めに調整する。また、一定の時間内で ACK が戻ってこない場合、送信

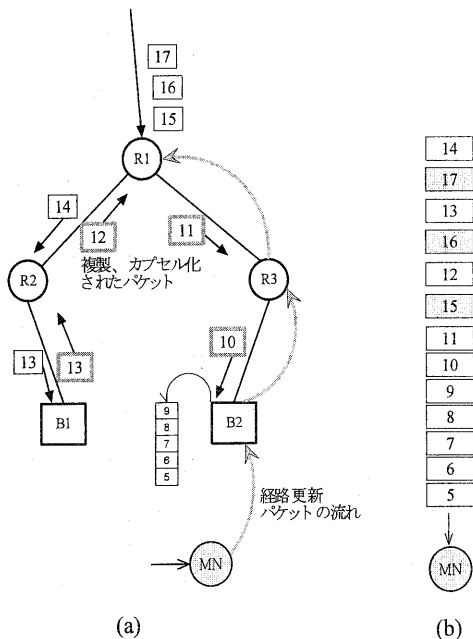


図 7. bi-cast 方式のデータパケットの順番

側は送信ウィンドウ内で最後に受信した ACK と同じシーケンス番号のパケットを再送する。再送が行なわれると、TCP スループットが急激に低下することが多い。

pre-update 方式(図 5)では、切り替え先の基地局でバッファリングをすることによって、MN が基地局を切り替える時、どの基地局にも接続していない間、パケットロスを無くすようにしているため、スループットが急激に落ちることが少ない。ただし、切り替えによって MN 側では受信遅延が生じるため、切り替えた直後と次の新しい基地局に移動する直前、ACK を送信する頻度に差が出るので、スループットは上下に変化する。MN の移動が速い場合、この差が小さくなるので、スループットはより安定になる。

一方、bi-cast 方式(図 6)では、バッファリングによるパケットのロスは避けられるが、パケットが MN に到着する順番が変わる可能性がある。その例は図 7 に示す。(a)では、MN が切り替え先の基地局 B2 と接続し、経路更新パケットを R1 まで送信した時のパケットの流れとバッファの状況を示している。R1 が MN の経路情報を更新した後、データパケットが MN に届く順番は(b)に示す。MN は 11 番のパケットを受信した後、

15 番のパケットを先に受信すると、パケットロスがあると判断し、11 番のパケットに対する ACK を再送する。そして、TCP 送信側ではデータパケットの再送が行なわれる。これによって、スループットが急に遅くなる。ただし、TCP 送信側からの再送パケットが MN まで配送されている間、MN は R1 から配送されたパケットと、B1 経由で配送されたパケットの両方を受信している。そして、14 番のパケットを受信すると、17 番のパケットに対して ACK を送るため、スループットは早く回復する。MN の移動が速い時、スループットが高い値まで回復する前に MN が次の基地局に移動するため、スループットの変化幅は小さくなり、より安定になって行く。これらにより、bi-cast 方式は pre-update 方式よりも一般的に効率が良く、車速が速いときにはより効率が良くなることがわかる。

図 8 と表 2 から、ソフトハンドオーバーの効果を明らかにした。ただし bi-cast 方式では、ハンドオーバー先の基地局へのパケットの配送に IP in IP トンネルを利用するため、トンネルパケットのヘッダの付加により、伝送路でパケットがフラグメントされる可能性がある。これらフラグメントしたパケットの一部がリンク切断により不達になることがある。それが TCP スループットに与える影響については現在未検討であり、今後評価を行う必要がある。

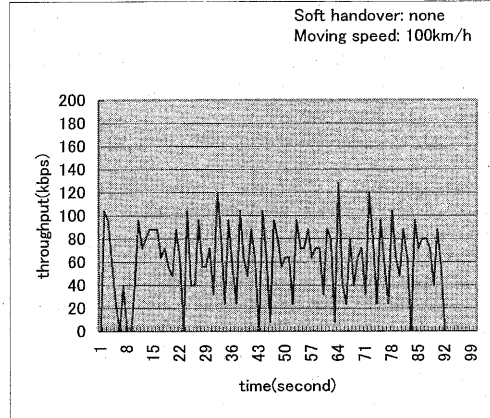
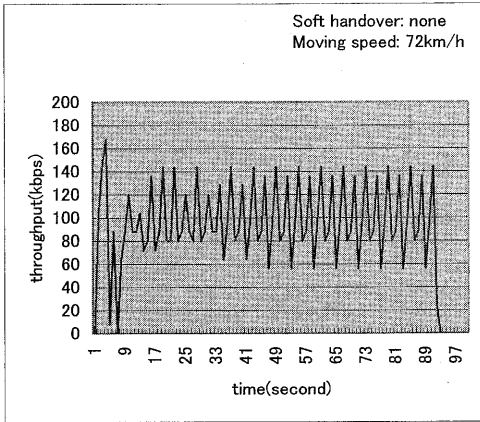
4. まとめ

本稿は DSRC 網における二つのソフトハンドオーバー方式を適用したときのシミュレーションの結果を報告した。

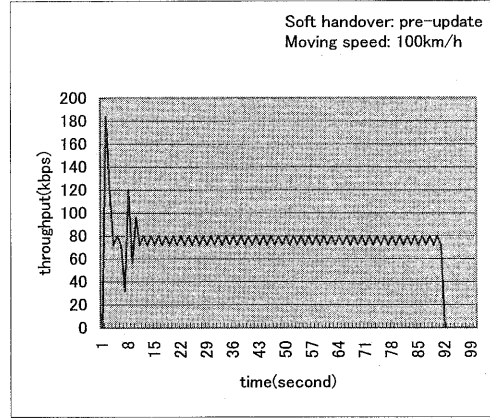
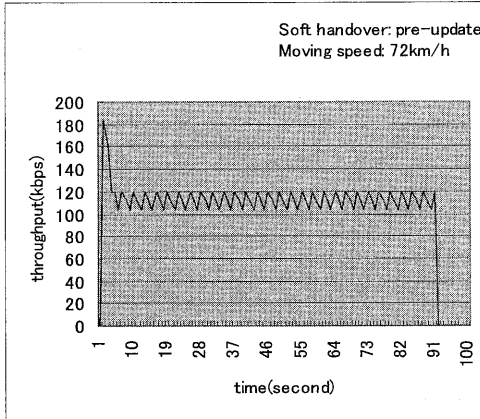
現段階では小規模 DSRC 網のシミュレーションのみを行なったが、ネットワークの実用性を評価するため、今後大規模網のシミュレーションを行なう予定である。

謝辞

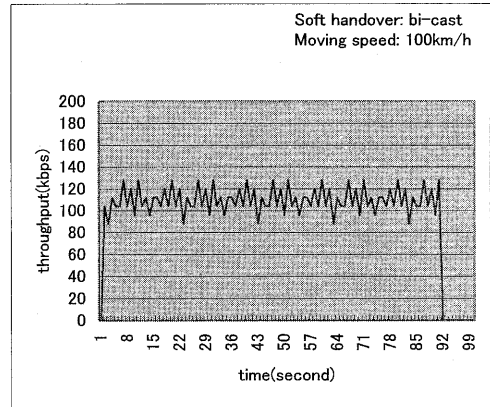
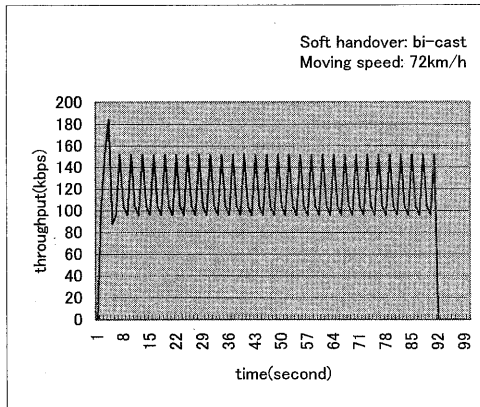
本研究は、「走行支援システム実現のためのスマートゲートウェイ技術の研究開発」の成果の一部です。通信・放送機構のご支援に感謝します。



(a) ソフトハンドオーバーなし



(b) pre-update 方式



(c) bi-cast 方式

図 8. TCP スループット

参考文献

- 1) ARIB: "有料道路自動料金収受システム", RIB STD-T55, Nov.1997
- 2) 水越, 守屋: "DSRC IPv6 網による車輛位置追跡機構の実現", IPSJ ITS&MBL, Vol. 2000, No.112, pp.105-112, Nov.2000
- 3) C. Perkins: "IP Mobility Support", RFC 2002, Oct. 1996
- 4) D.Johnson and C.Perkins: "Mobility Support in IPv6", Internet Draft, work in progress, draft-ietf-mobileip-ipv6-13.txt, Nov. 2000
- 5) CellularIP,
<http://comet.ctr.columbia.edu/cellularip/>
- 6) Ramachandran Ramjee, Thomas La Porta, Sandy Thuel, Kannan Varadhan, Luca Salgarelli, "IP micro-mobility support using HAWAII", Internet draft submission, Jul 2000.
- 7) *ns* <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- 8) TCP/IP Illustrated Volume 1, W. Richard Stevens. Addison-Wesley Publishing, 1994.